

【学位論文審査の要旨】

日々の生活から排出される都市ごみの多くは、公衆衛生の観点から焼却処理され、その残渣は最終処分場にて安全に埋め立てられている。しかし、最終処分場の延命化、焼却残渣の更なる有効利用を考えると、以下の様々な課題がある。まず、環境省の法令・告示には、有害物質を規制・管理する観点での評価方法は整備されているが、金属資源の有効活用のための評価方法がないため、焼却残渣に含まれる金属の資源性を評価できない。また、最終処分量削減に大きな効果が期待できる焼却残渣のセメント原料化においても、焼却残渣に含まれる塩類がセメント工場の受入制約になるといった課題が存在する。一方、社会経済システムの問題として、長距離の輸送を伴う広域処理による既存セメント工場での資源化と、塩類除去が不要なエコセメント工場を新設して焼却残渣を集約的に資源化する方法のベストミックス化等、中長期的な視点に立った幅広い焼却残渣の有効利用に関する将来計画は十分に検討されていない。

本研究は上記の問題を踏まえ、「焼却残渣等の資源性・環境安全性の分析」という実験的研究と、「焼却残渣のセメント原料化の経済性及び社会システムの評価」というシステム研究を2つの柱として、都市ごみ焼却残渣の資源化方法を提案したものである。

本研究で得られた主な成果は以下のとおりである。

(1) 焼却残渣等に含まれる金属資源の分析方法として、「環境省告示第19号」及び「レアメタル等暫定分析法」を取り上げ、非鉄金属製錬分野において資源性の評価方法として利用されている「マット融解法」の代替方法となり得るか否かを明らかにした。3法の分析値を比較した結果、レアメタル等暫定分析法はマット融解法に比べ、分析の再現性はやや低いものの、両者の分析値は概ね一致していることが明らかになった。レアメタル等暫定分析法は自治体の環境研究所等においても適用可能である点から、焼却残渣等の資源性を評価する分析方法としての活用が期待できることを示した。

(2) 「資源性・環境安全性」の観点に加え、セメント原料化の際に問題となる「塩類」にも着目し、焼却主灰や落じん灰等の分級処理を試み、粒径の違いによる金属含有量、溶出・脱塩特性を総合的に評価した。全含有量試験の結果、焼却主灰のCl、Zn及びCrは、ほぼ全ての粒径においてセメント受入基準を超え、落じん灰のAu、Ag、Pd及びZnは焼却主灰に比べ高い含有量であった。溶出試験の結果、焼却主灰、落じん灰のPbは、大部分の粒径において土壤汚染対策法における基準値を超えていた。脱塩試験の結果、全塩素の除去率は20～70%程度と幅があった。焼却残渣の混合材料化を検討する場合にはPb及びCrが、セメント原料化では更にCl、K、Cu及びZnが利用上の課題となるため、磁力選別、分級、比重選別、渦電流選別といった物理選別による金属回収と炭酸ガスによる脱塩を組み合わせた資源化フローを提案した。

(3) 焼却飛灰に比べ発生量が多い焼却主灰を対象にしたセメント原料化に着目し、資源循環システムの最適化を経済性の観点から試みた。線形計画法を用い、既存セメント工場、新設エコセメント工場で資源化した場合の主灰処理計画モデルを構築した。構築モデルに

よるコスト最小化の計算の結果、対象都市単独では、主にトラック及び船舶による広域輸送と既存セメント工場を活用した代替案が最適となった。一方、資源化を現行の処理量より増大させた場合、年間 30 万 t から 50 万 t 程度の処理量では、対象地域の周辺地域と共同でエコセメント工場を新規に建設して集約的に資源化する代替案が有効となることを示した。

(4) 将来の焼却主灰の脱塩前処理等の必要性、焼却飛灰との同時脱塩による効率性も勘案し、焼却主灰・飛灰の脱塩処理を考慮した都市ごみ焼却残渣のセメント原料化モデルを構築した。既存セメント工場の焼却残渣の受入余力を推計した上で、脱塩処理を清掃工場、既存セメント工場、またはリサイクルポートで実施するシナリオと、エコセメント工場を新規に設置する場合の計 4 つのシナリオに対し、コスト最小化となるセメント原料化計画を構築モデルによって作成した。モデルによる計算の結果、受入余力の上限を厳しく設定した場合でも、エコセメント工場による計画案は、他の 3 パターンに比べ総コストを抑えられることを示した。脱塩処理の実施により受け入れ側の許容量を増加させ焼却主灰・飛灰の利用促進を図るシステムよりも、エコセメント工場に基づく集約的なシステムの方が合理的であることが定量的に示された。

以上要するに、本論文は、焼却残渣の資源性・環境安全性を総合的に評価するとともに、線形計画法の援用により中長期的な視点から都市ごみ焼却残渣のセメント原料化のあり方を提案するものであり、環境資源工学分野及び環境システム工学分野における貢献は大きい。よって、本論文は博士（工学）の学位を授与するに十分な価値があると認める。